



# Elektrobusy v MHD - trendy a příklady



Ing. Jakub Slavík, MBA  
- Consulting Services  
provozovatel portálu



**Praha**  
**7. 6. 2013**

# Obsah prezentace

- První výsledky studie „E-mobilita v MHD“ o současném stavu a směrech vývoje elektrobusů
  - Porovnání elektrického pohonu (e-busy, T-busy, hybrid diesel) se spalovacími motory – diesel, CNG
  - Vývojové trendy
- E-mobilita MHD a smart grids
- Případové studie: e-busy Francie a ČR, fc-busy USA a TriHyBus, hybrid diesel V. Británie a ČR
- Doporučení pro podporu z veřejných zdrojů
- Shrnutí

# Studie „E-mobilita v MHD“(1)

- Zpracoval: Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services
- Hlavní příjemce: Sdružení dopravních podniků ČR a jeho členové
- Cíl: seznámit se současným stavem a trendy vývoje elektrobuses, podnítit zájem dopravců, výrobců, škol a veřejných institucí o rozvojové projekty
- Mediální partner studie:  
TOP EXPO CZ s.r.o.
- Plné znění bude publikováno na [www.proelektrotechniky.cz](http://www.proelektrotechniky.cz) a distribuováno zájemcům v září 2013, zde první výsledky



# Studie „E-mobilita v MHD“ (2)

- **Partneři studie:**



ABB s.r.o.



Cegelec Praha a.s.



EVC Group s.r.o.



SOLARIS

SOLARIS CZECH spol. s r. o.



SOR Libchavy spol. s r.o.



ŠKODA ELECTRIC

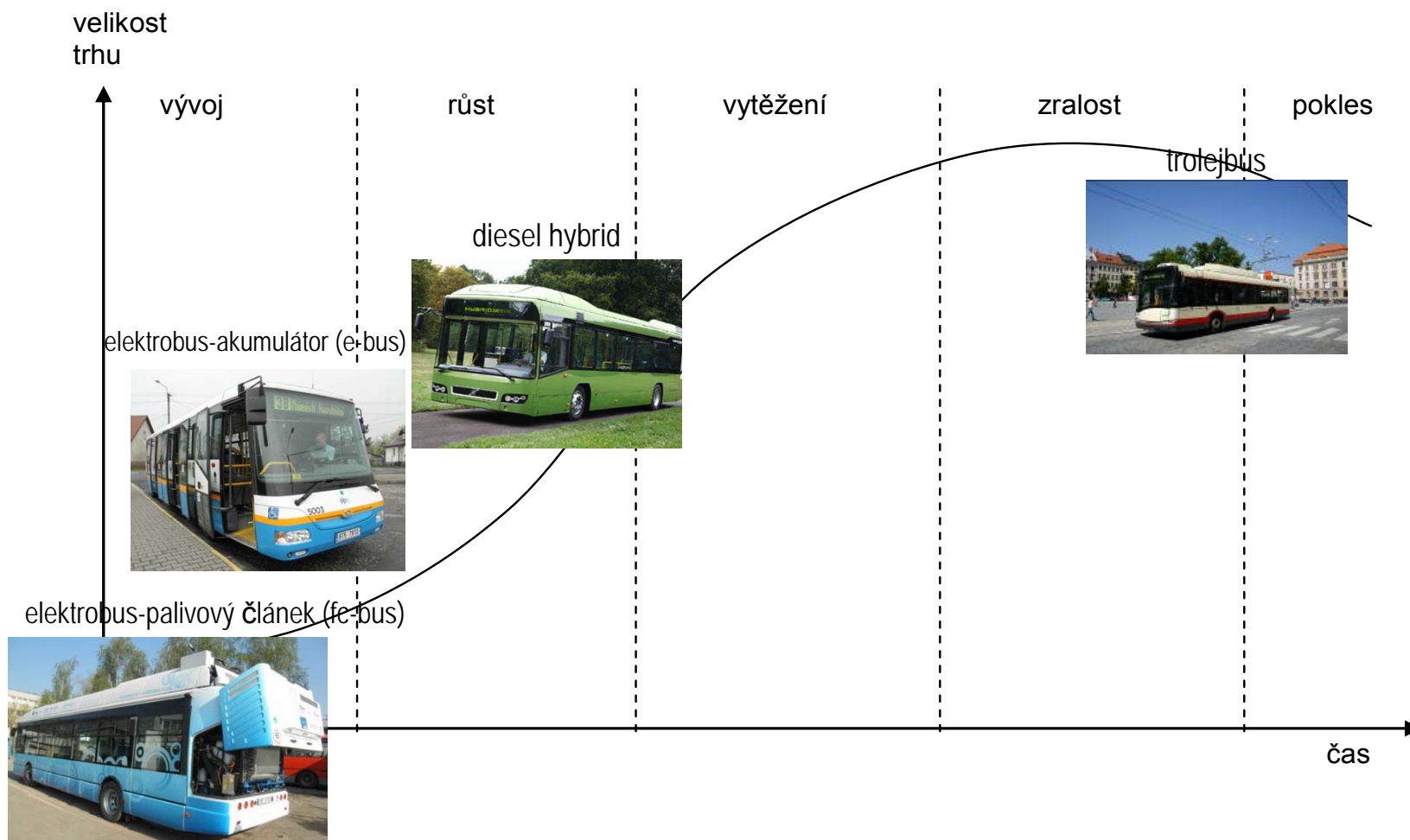
ŠKODA ELECTRIC a.s.



VOLVO Truck Czech s.r.o.

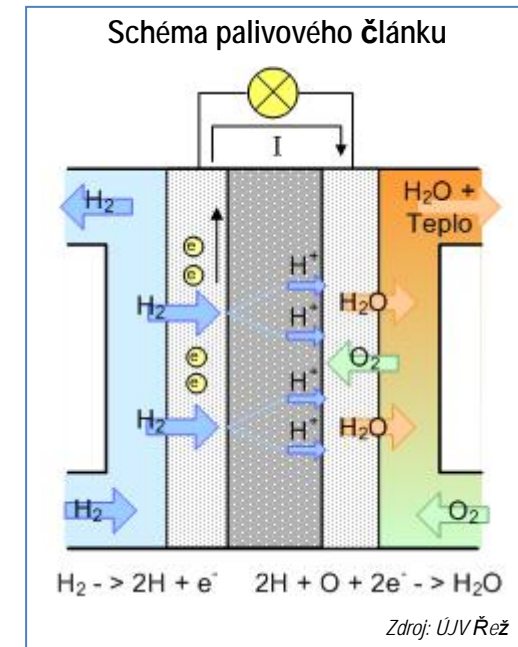
- **Zdroje informací:** zprávy a studie organizací Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking – FCH JU (EU) a National Renewable Energy Laboratory – NREL (USA), Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Národní spolek pro elektromobilitu a podporu moderních technologií, ČVUT Fakulta dopravní, Dopravní podnik Ostrava, EKOVA ELECTRIC a.s., ÚJV Řež, a. s. Dopravní podnik hl. m. Prahy, Transport for London, SunLine Transit Agency (USA), informace o zkušebních provozech od partnerů studie, publikované výstupy rozvojových projektů HyFleet:CUTE, 100 Bus Electriques a Trolley, odborná média: Proelektrotechniky.cz, FuelCellToday a Railway Gazette International

# Elektrobusy a životní cyklus trhu



# Zdroje energie elektrbusů

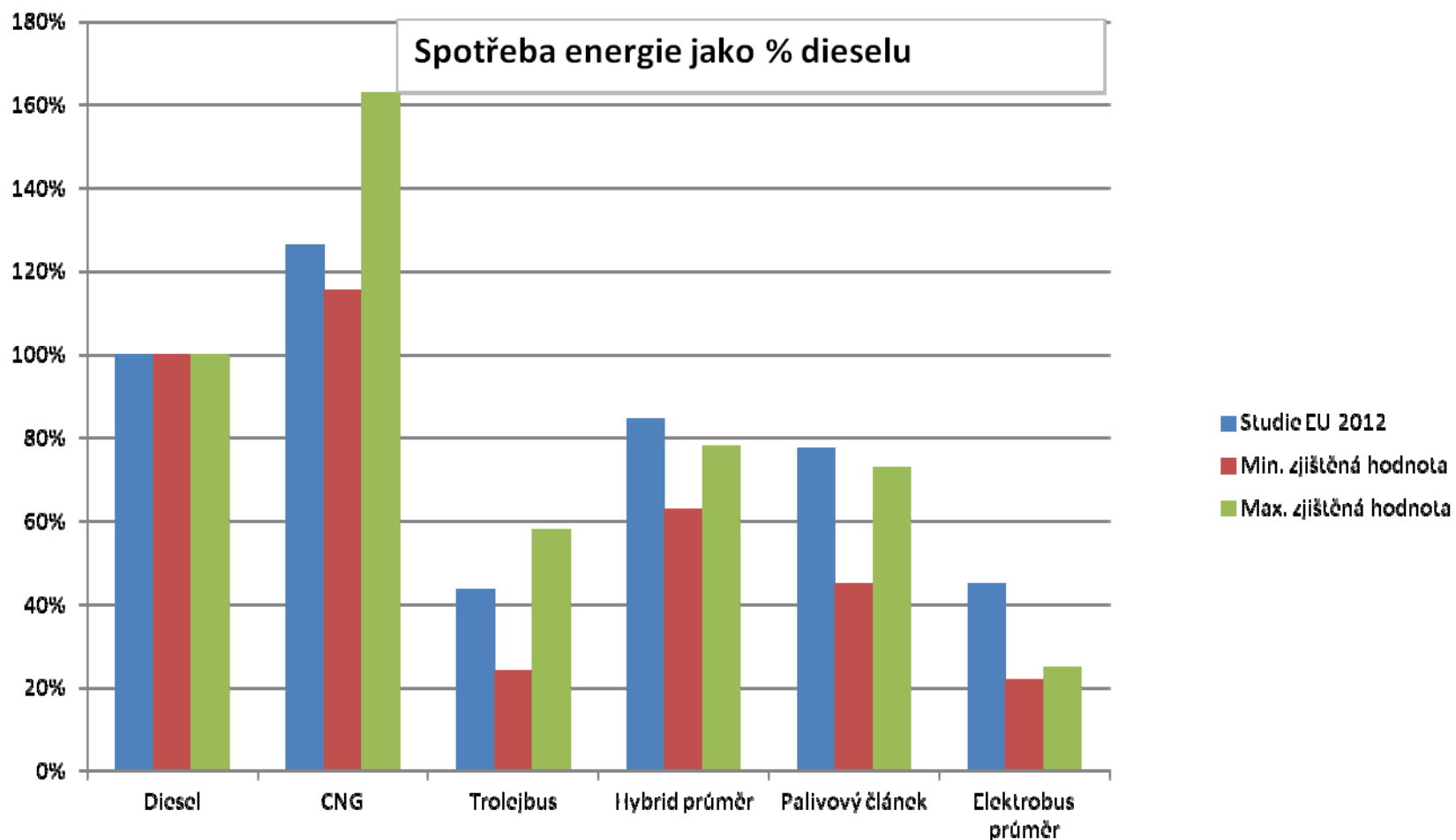
- Akumulátor: zpravidla lithium-iontové trakční baterie
  - Kapacita na celý den provozu: „noční e-busy“
  - Nabíjené na trase (zásuvka, sběrač, indukční, „flash charging“): „oportunitní elektrobusy“
- Palivový článek (fuel cell – FC):
  - Přebývá PEM technologie
  - Palivový článek  $\neq$  vodíkový pohon (jsou např. metanolové FC a vodíkové spalovací motory)
- Hybridní diesel:
  - Paralelní: diesel nebo elektromotor
  - Sériový: elektromotor, diesel dobíjí baterii
- Další dočasné zdroje elektrické energie: superkapacitor (osvědčený), jiné (např. elektromechanický setrvačnick)



# Poznatky ze zpracování studie

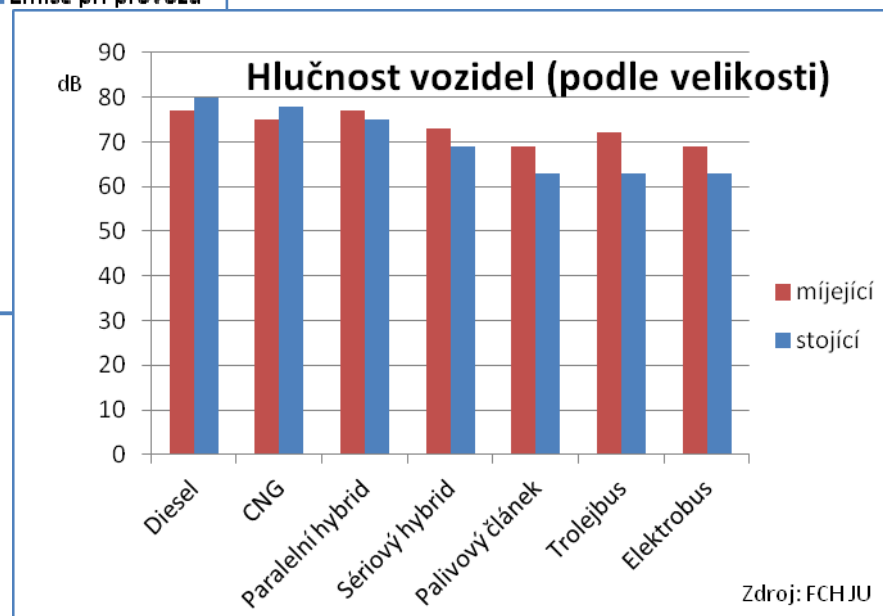
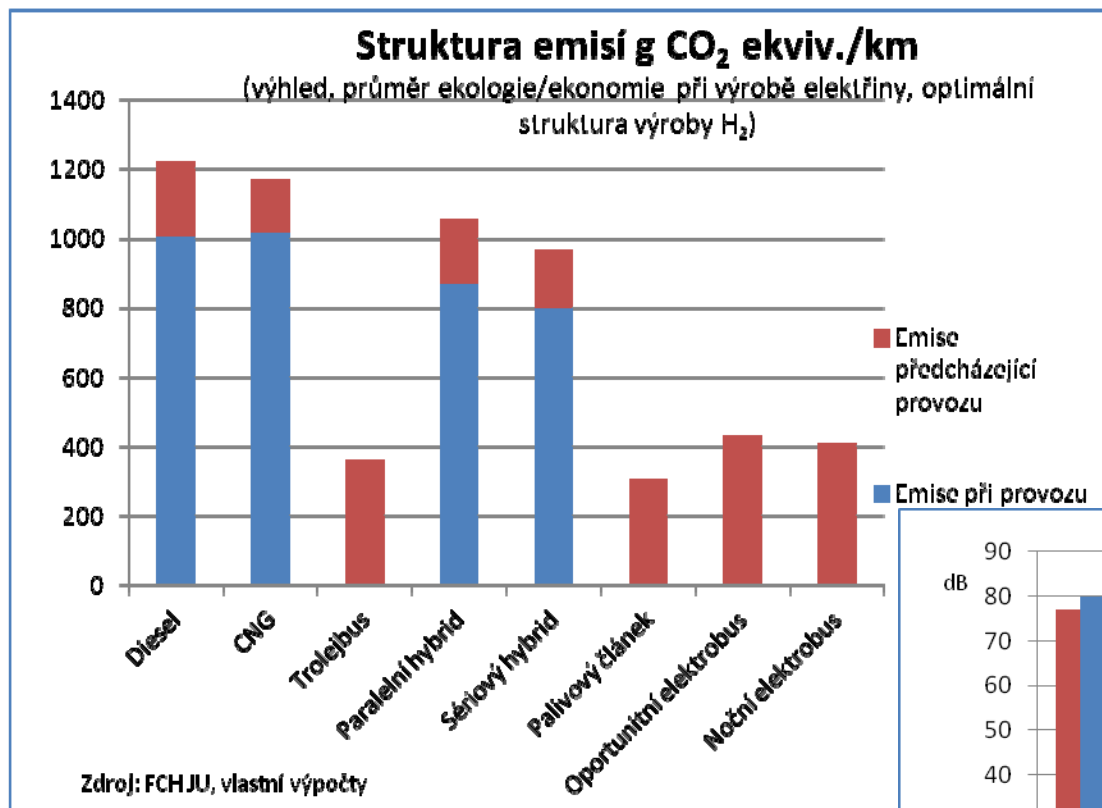
- Orientace na standardní městské autobusy; e-minibusy: samostatný produkt s delší historií a specifickými podmínkami provozu
- Údaje z provozu porovnány se souhrnnými údaji zprávy „Urban buses: alternative powertrains for Europe“ (FCH JU) – přístup „well-to-wheel“, „total cost of ownership“ – dále „Studie EU“
- Liší se dílčí hodnoty (různé místní podmínky, různé metody kalkulace), ale základní vztahy mezi druhy pohonů a závěry pro budoucí vývoj se shodují:
  - Perspektivní směry vývoje: oportunitní e-bus, fc-bus (elektrobus s palivovými články)
  - Nejekologičtější ze současných produktů silniční MHD na rozvinutém trhu jsou trolejbusy a hybridní diesely
- Technologie se rychle vyvíjejí: hybridní pohony, rychlonabíjení, palivové články a vodíkové technologie (PEM elektrolýza)
- Velká variabilita řešení: autobus MHD je zařízení na přepravu cestujících podle jízdního řádu – třeba uzpůsobit požadavkům konkrétního přepravního trhu, ne naopak

# Relativní spotřeba energie

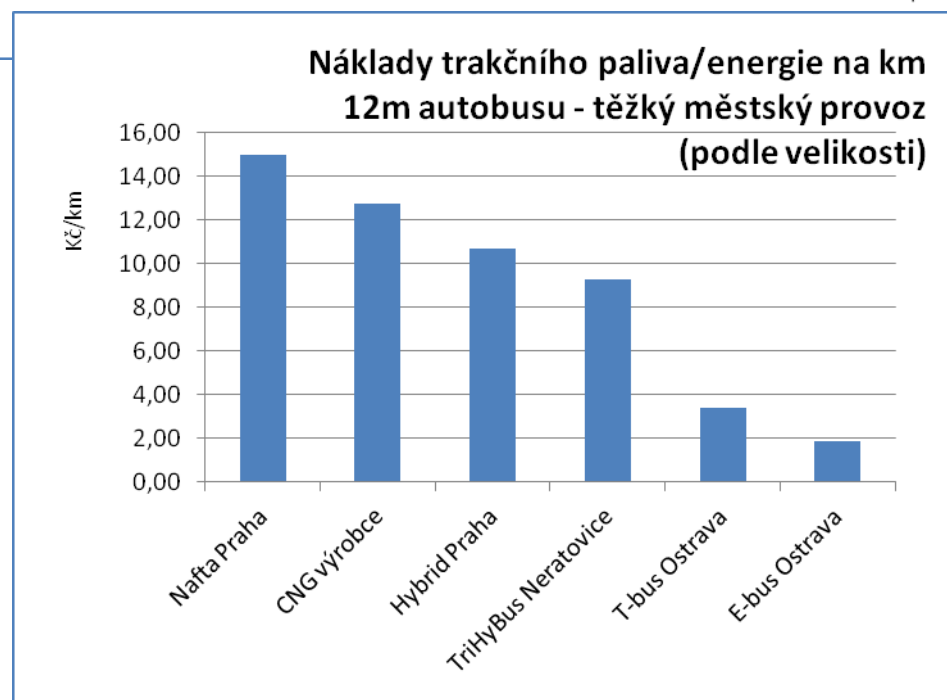
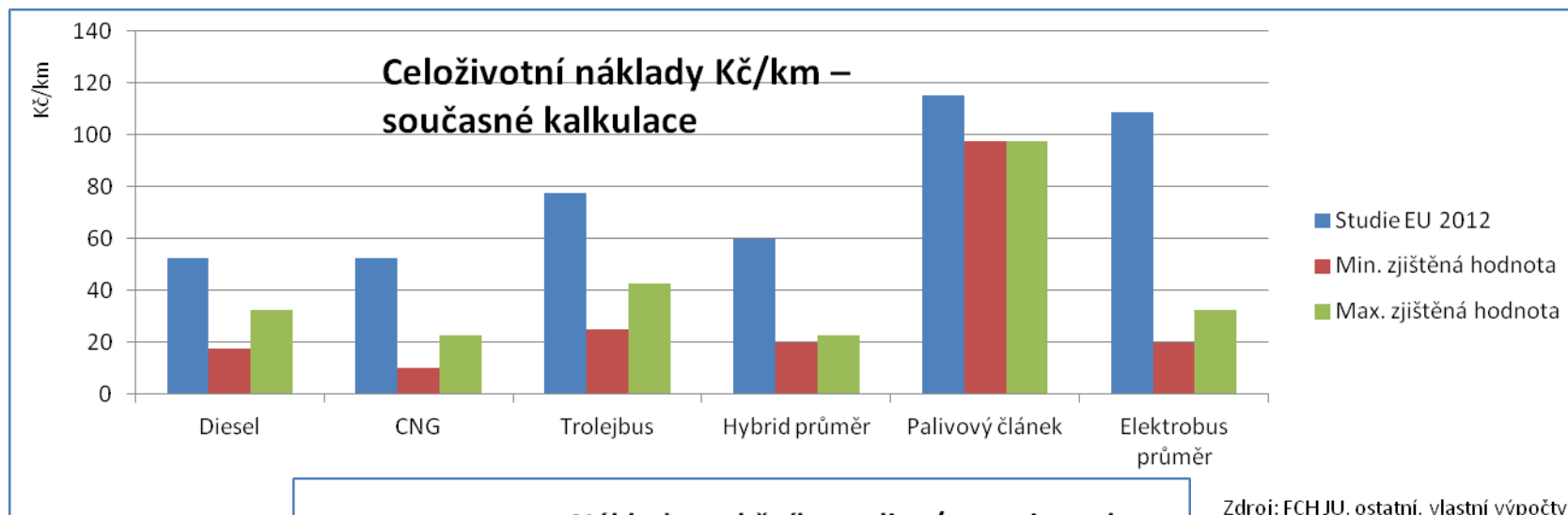




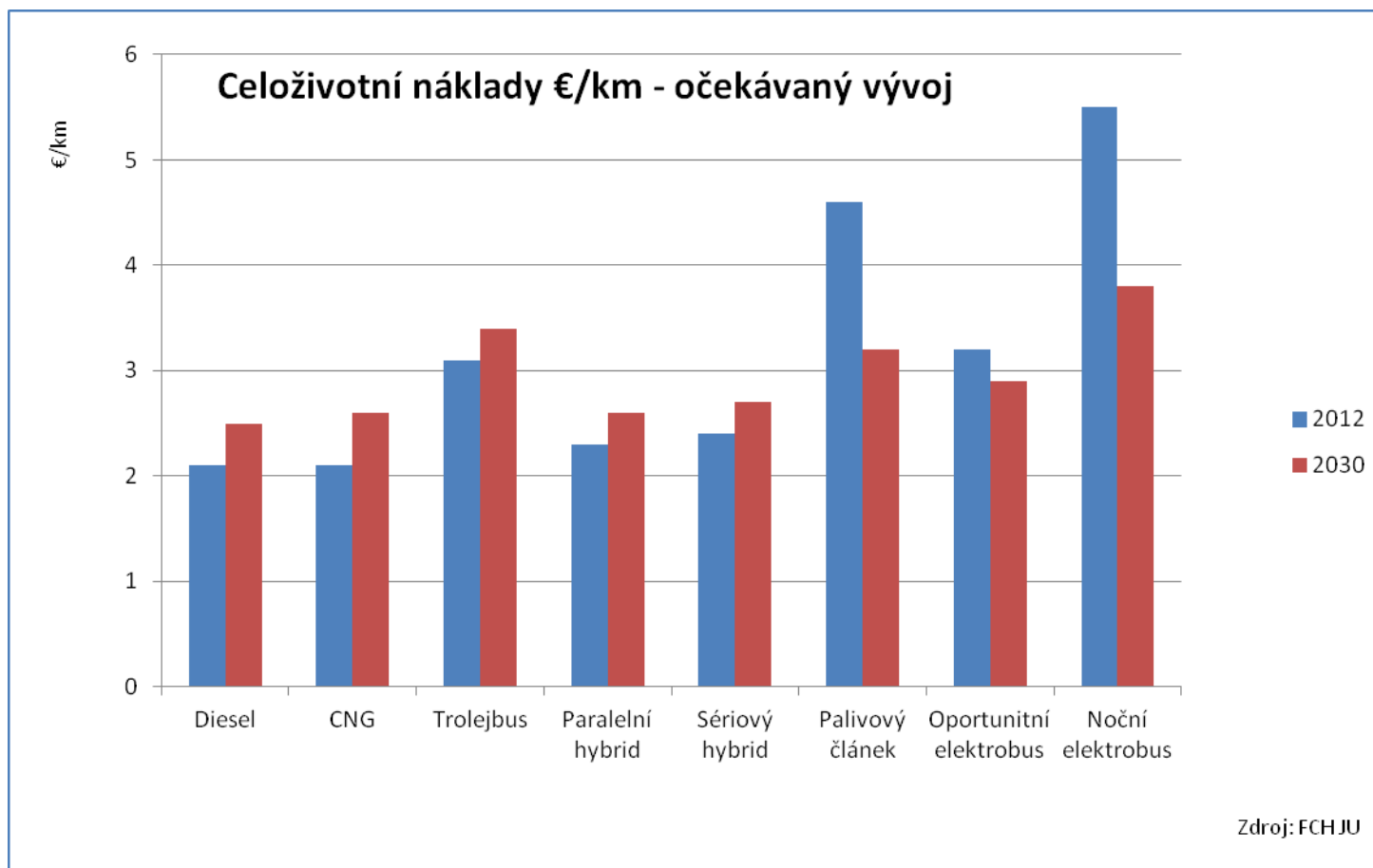
# Emise „well-to-wheel“ a hlučnost



# Náklady na km – současnost



# Náklady na km – očekávaný vývoj

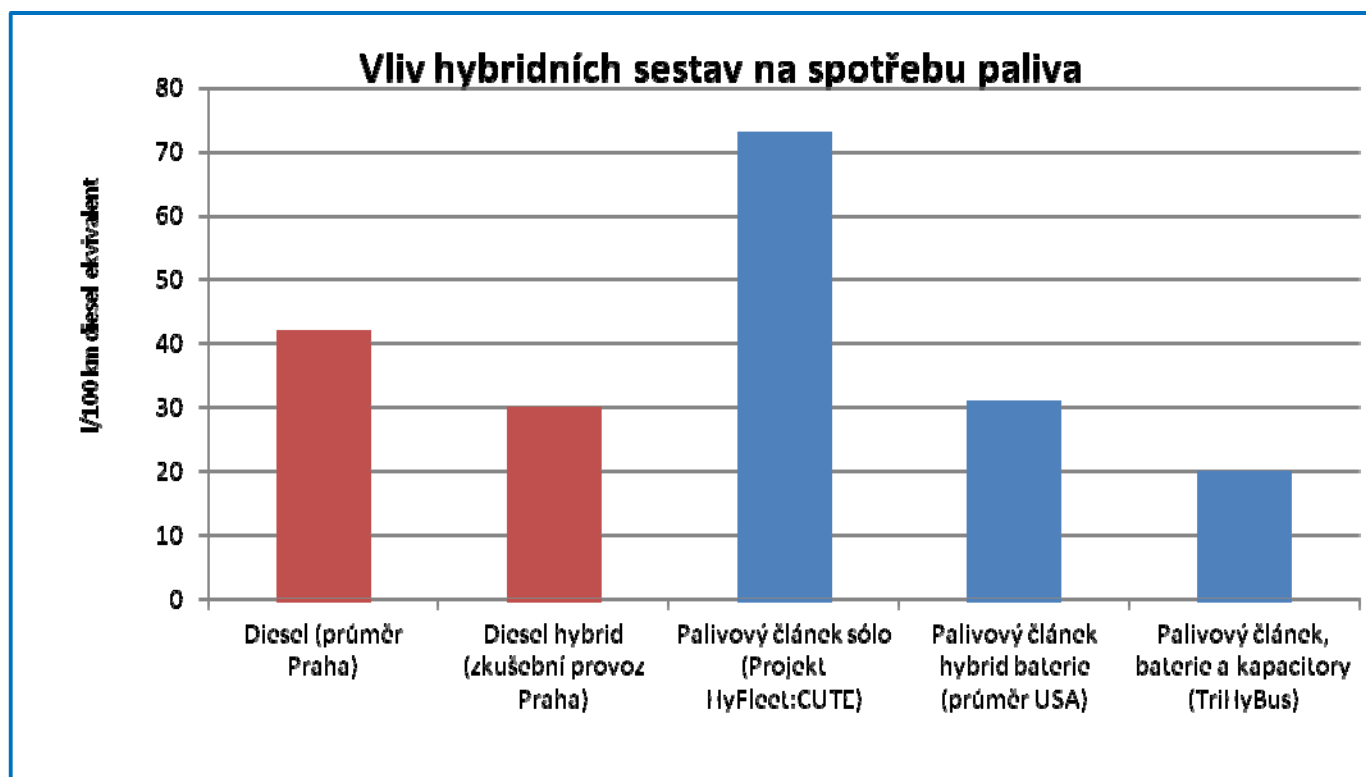


# Problémy a jejich řešení

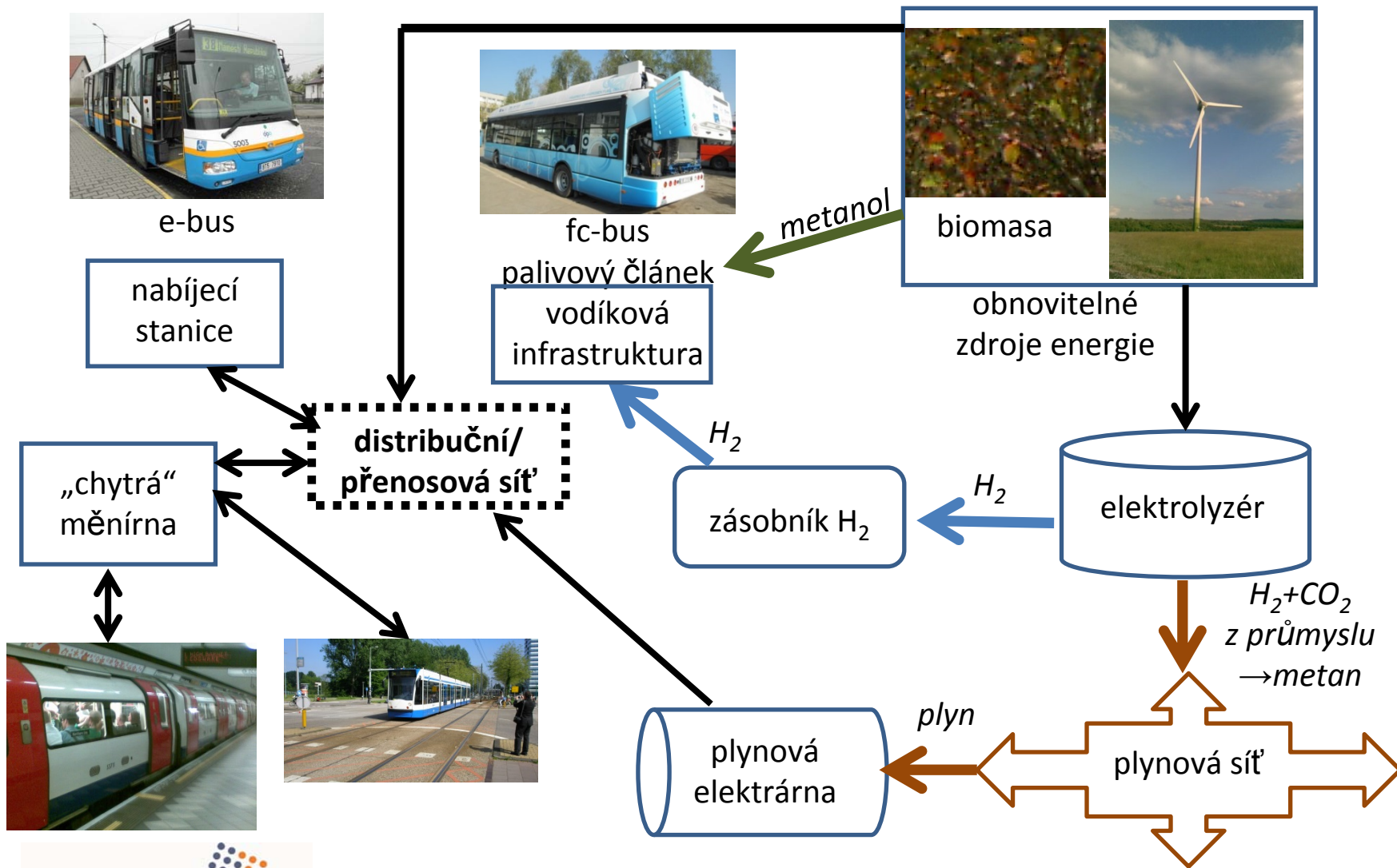
- Trolejbus: **závislost na infrastruktuře = provozní omezení a velká finanční náročnost** → „catenary free operation“ (CFO) – provoz bez trolejí v délce až několika km
- Hybridní diesel: **více pohonů = vyšší cena a poruchovost** → odzkoušená konstrukce = vysoká spolehlivost, nižší náklady na údržbu
- Akumulátorový elektrobuses (e-bus): **omezený dojezd na jedno dobítí baterií (max. 140 km), vyšší na úkor obsaditelnosti i bezpečnosti** → přizpůsobení výkyvům v poptávce, dobíjení na trase – tzv. oportunitní elektrobuses, vývoj trakčních baterií
- Elektrobuses s palivovými články (fc-bus): **nutnost vodíkové infrastruktury, vysoké pořizovací náklady** → vývoj technologií palivových článků a výroby vodíku

# Přínosy hybridních technologií

- Čas hospodařit s energií → **hybridní technologie**
- Náročné na systémovou integraci, ale vyplatí se



# E-mobilita MHD a smart grids (1)



(Souběžně s toky médií probíhají obousměrně toky informací)

# E-mobilita MHD a smart grids (2)

- Příklady konkrétních dílčích aplikací:
  - „Chytré“ měnírny – ABB Enviline (Pensylvánie, Lodž, Varšava)  
Alstom HESOP (Paříž, Londýn)
  - Multistandardní nabíjecí stanice ABB s rozhraním pro smart grid
  - Evropské projekty „power-to-gas“: North Sea PowertoGas Platform, CO2RRECT, Ecoisland
  - Metanolové palivové články pro pohon vozidel: Serenergy (Dánsko)
- Cegelec: po uplynutí životnosti má trakční baterie stále 70 % kapacity; může být použita jako stacionární zdroj napojený na smart grid
- Podrobnosti a další informace na [www.proelektrotechniky.cz](http://www.proelektrotechniky.cz)

# Příklad: projekt „100 Bus Electrique“

- Příklad e-minibusů – typ vozidla, způsob nasazení a parametry ne plně srovnatelné s 12m e-busy
- Zkušební projekt ve Francii (data z IQ 2005): 18 měst, 70 malých a středních e-busů různých typů o kapacitě 22 – 55 sedících s různými trakčními bateriemi (Pb, Ni-Cd, ZEBRA) o kapacitě 42 – 160 kWh
- Provoz hlavně na krátkých okružních linkách v historických centrech a v kyvadlové dopravě; denní proběh cca 100 km
- Pb baterie: výměna během dne (5-6 min.); Ni-Cd baterie a ZEBRA: noční nabíjení, Ni-Cd i rychlodonabíjení na trase
- Aku hospodářství dodavatelsky
- Disponibilita 95 %
- Spotřeba 0,6 – 1,2 kWh/km
- Úspěšné v historických centrech, pro linkový provoz potřeba větší kapacity a delšího dojezdu



Foto: EdF



# Příklad: e-busy v DP Ostrava

- Park 4 e-busů SOR EBN 10,5; kapacita 85 osob (srovnatelná s 12m autobusy); Li-Ion baterie 170 kWh; dojezd na jedno nabití 140 km (s cestujícími)
- Do linkového provozu 2010 – 2011, data z II. pol. 2012
- Provoz v dělených směnách
  - Ranní proběh 85 km – vybití trakčních baterií na 60 – 70 % kapacity; rychlodobíjení ve vozovně za 1 h
  - Odpolední proběh 100 km, noční pomalé dobíjení za 7 hodin
- Disponibilita 83 %, nejčastěji mech. závady; závady na pohonu 12 % oprav
- Spotřeba 0,89 kWh/km; 32 % rekuperace
- Cena 8,5 mil. Kč + 2 mil. Kč nové baterie
- Kalkulace celkových nákladů DPO: 32,8 Kč/km (=98 % autobusu, 78 % trolejbusu).



# Příklad: fc-busy SunLine TA (USA)

- 2 typy 12m fc-busů (palivový článěk):
  - a) New Flyer: 150 kW FC, Li-Ion baterie 47 kWh
  - b) Eldorado National: 159 kW FC, Li-Ion baterie 11 kWh; (údaje a/b)
- Linkový provoz FC busů průběžně od 2006, data z 2010 – 2012
- Dojezd na jedno naplnění nádrže: 460/560 km
- Disponibilita 62/71 %, nejčastěji problémy s trakčními bateriemi; FC nejméně poruch (20 %)
- Spotřeba 9,8/9 kg/100 km (diesel ekvivalent 33/30 l/100 km)
- Cena vozidla: 1,2 mil. \$ – 24 mil. Kč (New Flyer)
- Kalkulace celk. nákladů: 4,82 \$ – 96,40 Kč/km (New Flyer)



Foto: SunLine Transit Agency

# Příklad: projekt TriHyBus

- Prototyp fc-busu založený na 12m typu Irisbus Citelis, kapacita 96 cestujících – demonstrační projekt EU, vedoucí ÚJV Řež, trakce a integrace Škoda Electric
- Trojitě hybridní koncepce: 50 kW FC, Li-Ion baterie 26 kWh, kapacitory 1 kWh – 200 kW rozjezd, 300 kW brzdění
- Demonstrační jízdy a provoz s cestujícími na linkách MHD Neratovice; zahájení projektu 2008, data z období 2012 – 13
- Dojezd na jedno naplnění nádrže: 275 km
- Disponibilita vozidla: 90 %, ve sledovaném období jediná porucha: brzdový pedál
- Problém H<sub>2</sub> infrastruktury: zjištěna závada, dlouhé čekání na odstranění
- Spotřeba 7,75 kg/100 km (diesel ekvivalent 20 l/100 km)
- Celkové náklady projektu: 83,6 mil. Kč, z toho 25 mil. Kč infrastruktura a 58,6 mil. Kč vývoj a dodání vozidla
- Trojitě hybridní konstrukce: max. efektivnost pro provoz MHD, přesto nejistá další budoucnost projektu



# Příklad: diesel hybrid v Londýně

- 207 diesel hybridních autobusů různých koncepcí od různých výrobců; převážně Li-Ion baterie
  - a) zkušební park: 12m standardní i patrové
  - b) park Green Bus Fund – nejspolehlivější typy (Alexander Dennis Limited a Volvo): patrové
- 7 dopravců na 16 linkách MHD
- Data z období 9 – 12/2012
- Disponibilita:
  - zkušební park 87 % (rozpětí 36 – 99 %)
  - Green Bus Fund 99 %
- Podíl poruch hybridního systému: 4 – 78 %
- Spotřeba paliva 21,4 – 55 l/100 km (rozdíly standardní/patrový bus)
- Průměrná úspora nafty hybridní konstrukcí: 30 %
- Rozdíly podle výrobců, ne podle koncepcí (sériový-paralelní hybrid)
- Úspěch hybridních autobusů: na rok 2016 v plánu 20 % voz. parku



Foto: Transport for London

# Příklad: diesel hybrid v ČR

- Hybridní autobus Volvo 7700, kapacita 95 cestujících; paralelní hybrid, Li-Ion baterie 1,2 kWh
- Zkušební provoz
  - a) MHD Praha (zatížená linka v centru)
  - b) MHD Chomutov (příměstský provoz v kopcovitém terénu); (údaje a/b)
- Data z června/září 2012
- Disponibilita: 88 % (drobné mech. závady a nehody)
- Disponibilita hybridního pohonu: 100 %
- Spotřeba paliva: 30,4/30,6 l/100 km
- Průměrná úspora nafty hybridní konstrukcí: 28/20 % – větší efekt hybridu v městském režimu
- Demonstrována spolehlivost hybridu osvědčené konstrukce (3 roky sériová výroba)



Foto: Volvo Bus Corporation

# Doporučení pro podporu z veřejných rozpočtů

- **Produkty ve vývoji:** elektrobuses (e-busy a fc-busy)
  - **Oportunitní e-busy a fc-busy (palivový článěk) – nejperspektivnější směry technického vývoje ekologické silniční MHD**
    - podpora vývoje trakčních baterií, palivových článků a hybridních technologií v rámci výzkumných a vývojových projektů
    - motivace k vzniku veřejně soukromých projektů „univerzitní výzkum + výrobci technologií + dopravci“ se smíšeným financováním
    - finanční motivace dopravců k zapojení do rozvojových projektů
  - **nezbytnost konzistentních dat z reálného provozu pro vývoj technologií**
- **Zavedené produkty na trhu:** trolejbus a hybridní diesel:
  - **Nejekologičtější z hotových produktů pro silniční MHD**
    - investiční dotace na ekologickou MHD, prostor pro fungování konkurence mezi výrobci

# Shrnutí

- Elektrický pohon neekologičtější v místě i „well-to-wheel“ – konkrétní hodnoty se různí podle zdrojů informací, relace mezi nimi se řádově příliš neliší
- Rychlý vývoj technologií v e-mobilitě, potenciál pro životní prostředí i trh
- V zahraničí úzká spolupráce výzkumné sféry, výrobců a dopravců – snaha co nejrychleji dostat nové produkty na běžný trh; v ČR zatím málo
- Potenciál pro podporu z veřejných zdrojů státu a EU:
  - Podpora výzkumu, vývoje a zkoušek v běžném provozu u produktů ve vývoji (elektrobuses a jejich součásti – trakční baterie, palivové články, hybridní systémy a jejich řízení) a u systémů smart grids
  - Dotace na ekologickou MHD u hotových produktů (metro, trolejbusy, tramvaje, hybridní autobusy)

# A dál?

## Otázky, komentáře:

Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services

K podjezdu 596/18, 251 01 Říčany u Prahy

Tel. +420 323 631 119

E-mail: [slavik.jakub@volny.cz](mailto:slavik.jakub@volny.cz);

[info@proelektrotechniky.cz](mailto:info@proelektrotechniky.cz)

## Vývoj elektromobility a automatizace v dopravě:

[www.proelektrotechniky.cz](http://www.proelektrotechniky.cz)



**Děkuji za pozornost! 😊**